

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2004-049523

(43)Date of publication of application : 19.02.2004

(51)Int.Cl.

A61B 5/04
B62D 1/12

(21)Application number : 2002-210764

(71)Applicant : KEIO GIJUKU

(22)Date of filing : 19.07.2002

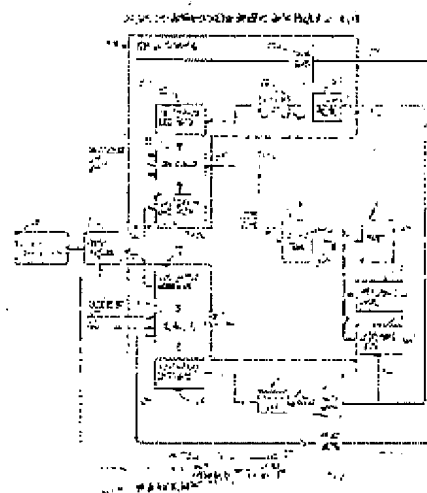
(72)Inventor : KATSURA SEIICHIRO
ONISHI KOHEI

(54) METHOD AND EQUIPMENT FOR CONTROLLING RUNNING VEHICLE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To relax an impact force caused by an impact, or the like, with an obstacle, or the like, and to obtain desired operation characteristics even when the situation of a running surface changes.

SOLUTION: An output of a joystick 2 is converted into a power command F_{hum} in a virtual translation direction and a power command N_{hum} in a rotatory direction and they are inputted to a translation direction control system 10 and a rotational direction control system 20. The power commands F_{hum} and N_{hum} are inputted to compliance control means 12 and 22, while high-frequency components of external forces F_{anv} and N_{anv} applied to a wheelchair 1 and estimated by a counter force estimating means 7 are inputted to compliance control means 13 and 23, and a compliance control is conducted on a human input and the external forces. Outputs of the control means 11 and 21 are subjected to coordinate transformation, converted further into current signals and given to the running vehicle 1. The low-frequency components of the counter force are inputted to an adaptive control means 18 and a conversion coefficient for the power command F_{hum} is varied by a value corresponding to the friction force between the wheelchair 1 and the running surface.



[0010]

Turbulence applied to a wheelchair 1 is estimated by turbulence estimation means 6 and a current signal I_{comp} in response to the amount of the turbulence is output from the turbulence estimation means 6. A current command I^{ref} output by the $\theta^{ref} \rightarrow I$ conversion means 5 and a current signal I_{comp} output by the turbulence estimation means 6 are added and are applied to a motor controller (not shown) for driving both wheels of the chair wheel 1 to drive the wheelchair 1. Further, reaction estimation means 7 estimates external force generated by external environment to output estimated external force τ_{env} . The estimated external force τ_{env} output by the reaction estimation means 7 is converted to translational component F_{env} and rotational component N_{env} respectively to permit high frequency components thereof to be taken out by high-pass filters 14, 24 which are provided to compliance control means 13, 23 of translational direction control system 10 and rotational direction control system 20.

[0014]

(1) Turbulence estimation means 6

In the present embodiment use is made of turbulence estimation means 6 for estimating turbulence applied to a wheelchair. The turbulence estimation means 6 estimates the total sum of turbulences applied to the wheelchair including parameter variations and cancels the turbulence by feeding back estimated turbulence. Hereby, a robust control system can be constructed.

The turbulence estimation means 6 is described in for example: Murakami Toshiyuki, Nakamura Ryou, Ikukata Mei, Onishi Kohei: "multi-freedom robot force sensor-less compliance control" Japanese Robot Journal, Vol.11, No.5, pp.765-768, (1993) (referred to paper 1 hereinafter), Nishikawa Naoki, Fujimoto Yasutaka, Murakami Toshiyuki, Onishi Kohei: "Variable compliance Control of three-dimensional Two leg walking robot" Electrical Society industry application Journal, Vol.119-D, No.12, pp.1507 to 1513, (1999) (referred to paper 2 hereinafter). Also in the present embodiment, those described in the papers 1 and 2 can be used.

Fig6 is a block diagram illustrating the turbulence estimation means 6. As illustrated in the same figure, the turbulence estimation means 6 incorporates rotational speed of a car wheel of a wheelchair θ^{res} and an input current I_a to estimate turbulence acted on the wheelchair 1 and outputs I_{comp} . The estimated turbulence is indicated by the following formula(3).

[0017]

(2) Reaction estimation means 7

For detecting external force generated by an environment use is made of the reaction estimation means 7 in the present embodiment. The reaction estimation means 7 is described in the papers 1 and 2, and also in the present embodiment those described in the papers 1 and 2 are useable. Fig.7 illustrates a block diagram of the reaction estimation means 7. The reaction estimation means 7 is the same as the foregoing turbulence estimation means 6 excepting that τ_{init} is subtracted. It incorporates rotational speed $\dot{\theta}_{res}$ of wheels of a wheelchair and an input current I_a to estimate external force acting on the wheelchair 1, and outputs τ_{env} . Estimated external force is as expressed in the foregoing formula(4). Herein, designated at $g_{ reac}$ is a gain of the reaction estimation means and τ_{init} is a difference between it and a nominal value of an inertia matrix. The external force τ_{env} estimated by the reaction estimation means 7 is converted to F_{env} that is a component in a translational direction and N_{env} that is a component in a rotational direction by coordinate conversion means 15, 25. The conversion is performed by the following formula (5).

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-49523

(P2004-49523A)

(43) 公開日 平成16年2月19日 (2004. 2. 19)

(51) Int. Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
A61G 5/04	A61G 5/04 502	3D030
B62D 1/12	B62D 1/12	

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2002-210764 (P2002-210764)	(71) 出願人 899000079
(22) 出願日 平成14年7月19日 (2002. 7. 19)	学校法人慶應義塾
特許法第30条第1項適用申請有り 平成14年3月1日開催の「電気学会研究会産業計測制御研究会」において文書をもって発表	東京都港区三田2丁目15番45号
	(74) 代理人 100100930
	弁理士 長澤 健一郎
	(72) 発明者 榎 誠一郎
	神奈川県横浜市港北区日吉3丁目14番1号 慶應義塾大学理工学部内
	(72) 発明者 大西 公平
	神奈川県横浜市港北区日吉3丁目14番1号 慶應義塾大学理工学部内
	Fターム (参考) 3D030 H295

(54) 【発明の名称】 走行車の制御方法および装置

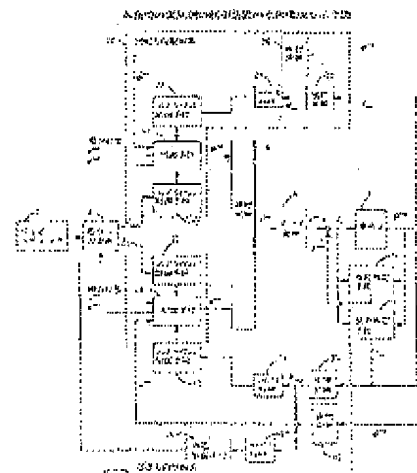
(57) 【要約】

【課題】 障害物等との衝突などにより生ずる衝撃力を緩和するとともに、走行面の状況が変わっても所望の操作特性を得ることができるようにすること。

【解決手段】 ジョイスティック2の出力を仮想的な並進方向の力指令 $F_{h u m}$ と、回転方向の力指令 $N_{h u m}$ に変換し、並進方向制御系10、回転方向制御系20に入力する。力指令 $F_{h u m}$ 、 $N_{h u m}$ は、コンプライアンス制御手段12、22に入力され、また、反力推定手段7により推定された車椅子1に加わる外力 $F_{o v}$ 、 $N_{o v}$ の高周波成分はコンプライアンス制御手段13、23に入力され、人間の入力と上記外力に対してコンプライアンス制御を行う。制御手段11、21の出力は座標変換され、さらに電流信号に変換され、走行車1に与えられる。また、上記反力の低周波成分は適応制御手段18に入力され、車椅子1と走行面との間の摩擦力に応じた値で力指令 $F_{h u m}$ への変換係数を変化させる。

【図1】

図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

少なくとも走行車の位置信号をフィードバックし、指令値ととの偏差に基づき、駆動手段を駆動して走行車を移動させる走行車の制御方法であって、
操作量を力指令に変換し、

上記力指令を第 1 の 2 次遅れ要素に入力して指令信号を求め、

また、上記走行車に加わる外力を求め、

上記外力を第 2 の 2 次遅れ要素に入力して、外力のフィードバック信号を求め、

走行車からのフィードバック信号と、上記第 1 の 2 次遅れ要素が出力する指令信号、および上記第 2 の 2 次遅れ要素が出力する外力のフィードバック信号とに基づき、走行車の駆動信号を求め、上記駆動手段により走行車の走行を制御することを特徴とする走行車の制御方法。

10

【請求項 2】

上記走行車に加わる外力を、高周波成分をカットするローパスフィルタに入力し、該ローパスフィルタの出力に基づき、走行車と走行面との間の摩擦力を求め、

上記摩擦力に応じて、上記力信号への変換係数を変化させる

ことを特徴とする請求項 1 の走行車の制御方法。

【請求項 3】

上記走行車に加わる外力を、低周波成分をカットするハイパスフィルタを介して上記第 2 の 2 次遅れ要素に入力する

ことを特徴とする請求項 1 または請求項 2 の走行車の制御方法。

20

【請求項 4】

少なくとも走行車の位置信号をフィードバックし、指令値ととの偏差に基づき、駆動手段を駆動して、走行車を移動させる走行車の制御装置であって、

操作量を力指令に変換する手段と、

上記力指令を第 1 の 2 次遅れ要素に入力し、指令信号を求める第 1 のコンプライアンス制御手段と、

上記走行車に加わる外力を求める手段と、

上記外力の低周波成分をカットするハイパスフィルタと、

上記ハイパスフィルタの出力を、第 2 の 2 次遅れ要素に入力し、外力のフィードバック信号を求める第 2 のコンプライアンス制御手段と、

30

走行車からのフィードバック信号と、上記第 1 の 2 次遅れ要素が出力する指令信号、および上記第 2 の 2 次遅れ要素が出力する外力のフィードバック信号に基づき、上記駆動手段を制御する制御手段とを備えた

ことを特徴とする走行車の制御装置。

【請求項 5】

上記走行車に加わる外力を、高周波成分をカットするローパスフィルタに入力し、該ローパスフィルタの出力に基づき、走行車と走行面との間の摩擦力を求める手段と、

上記摩擦力に応じた値で、上記力信号への変換係数を変化させる手段を備えたことを特徴とする請求項 4 の走行車の制御装置。

40

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、電動車椅子、電動台車、電動自転車や、無線等で操縦される移動式マニピュレータ等に適用することができる走行車の制御装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

少子高齢化社会をむかえ、人間のパートナーとしてのロボットの役割が期待されており、介助用ロボット等を含む各種の機器が開発されている。

介助用機器として用いられる移動支援機器の代表的なものとしてパワーアシスト機能を備

50

えた電動車椅子がある。この種の電動車椅子は、乗る人の手で車椅子を操作するためのハンドル等の操作桿が設けられ、上記操作桿に加わった操作力に応じて、左右一對の主輪を駆動して車椅子を走行させるものである。

また、同様に、人の操作力に応じた力で電動機を駆動することにより、比較的小さな操作力で車を走行させるものとして、電動自転車や電動台車等が知られている。

上記電動車椅子としては、例えば特開平9-248319号公報に開示されるものがある。上記公報に記載されるものは、走行抵抗が変化しても、過不足がない適切な制御を行うため、ハンドルに加える操作力と車速と走行抵抗に基づいて、電動機による補助力を制御するようにしたものであり、これにより走行フィーリングの良好な電動車椅子を提供するものである。

10

【0003】

【発明が解決しようとする課題】

上記公報に開示されるものは、走行負荷に対して過不足がない適切な制御を行うことができるが、予め定められた係数で制御を行うものであり、複雑な環境に柔軟に対応することができない。

一方、従来の電動車椅子は、障害物などに衝突した場合には、機械的にクッションなどを付けることにより衝撃力を緩和していた。しかし、いくらクッションなどを使用しても、車輪が駆動し続けてしまっている場合は、その意味がなくなってしまう。

また、外力の検出には力センサを用いているものが多いが、外力が力センサのついている部分だけでしか検出されない、つまり外力の加わる部分をあらかじめ想定しているという

20

ことは、複雑な環境に対応することができない。さらに、従来の電動車椅子など、人間の力をアシストして動く車では、アシスト比（モータによる駆動力／人力による駆動力）が一定であり、人間が環境の変化に応じて力を変化させなければならなかった。

本発明は、上記従来技術の問題点を解決するためになされたものであって、本発明の第1の目的は、環境の変化に対して柔軟に対応することができ、障害物等との衝突や走行面の状況の変化などにより生ずる衝撃力を緩和するとともに、人間の指令に対して柔軟な動作をさせることができる走行車の制御装置を提供することである。

本発明の第2の目的は、アシスト比を可変とし、人間は一定の力を加えるだけで搭乗者や走行面の状況が変わったときでも所望の操作特性を得ることができる走行車の制御装置を提供することである。

30

【0004】

【課題を解決するための手段】

上記課題を本発明においては、以下のようにして解決する。

走行車を操作するためのジョイスティック、あるいは、トルクセンサの出力を仮想的な並進方向の力指令と、回転方向の力指令に変換する。

そして、反力推定手段等により上記走行車に加わる外力を求め、上記ジョイスティックやトルクセンサによる人間の入力と、上記環境からの外力に対して、コンプライアンス制御を行う。

すなわち、力指令を第1の2次遅れ要素に入力して指令信号を求め、また、上記走行車に加わる外力を求め、この外力を第2の2次遅れ要素に入力して、外力のフィードバック信号を求め、走行車からのフィードバック信号と、上記第1の2次遅れ要素が出力する指令信号、および上記第2の2次遅れ要素が出力する外力のフィードバック信号とに基づき、走行車の駆動信号を求め、上記駆動手段により走行車の走行を制御する。

40

これにより、障害物に衝突した場合等の衝撃を緩和し、環境からの外力に対しても柔軟な制御を行うことができる。特に、人間の入力と、上記環境からの外力のそれぞれに対して、コンプライアンス制御を行っているため、人間の力に対する位置応答性、外力に対する位置応答性を独立に設計することができ、位置制御性能を維持しつつ、外力に対して所望のコンプライアンス特性を確保することができる。

また、走行車に加わる外力を、高周波成分をカットするローパスフィルタに入力し、該ロ

50

ーパスフィルタの出力に基づき、走行車と走行面との間の摩擦力を求め、上記摩擦力に応じた値で、上記操作量を力指令に変換する変換係数を変化させることにより、走行車の重量の変動や走行面の状況が変化しても、所望の操作特性を得ることができる。

さらに、上記走行車に加わる外力を、低周波成分をカットするハイパスフィルタを介して上記第2の2次遅れ要素に入力することにより、走行面の摩擦力の変動、走行車の重量等の影響を受けることなく、障害物との衝突等により生ずる急激な外力の変動に対して、柔らかな応答特性を得ることができ、障害物との衝突等による衝撃を緩和することができる。

【0005】

【発明の実施の形態】

図1は本発明の実施例の制御装置の全体構成を示す図、図2は本実施例の適用対象である電動車椅子の概念構成を示す図である。なお、以下の実施例では、本発明を電動車椅子に適用した場合について説明するが、本発明は、前記したように電動台車、電動自転車、無線等で操縦される移動式マニピュレータ等、人の操作により移動する各種の走行車に適用することができる。

図1において、1は電動車椅子であり、電動車椅子1は、図2に示すように本体部1aと一対の車輪1bから構成され、図示しないが一対の車輪1bをそれぞれ駆動するモータと、該モータや制御装置に電源を供給するバッテリーと、電動車椅子1を操作するためのジョイスティック2を備える。また、図1に示す制御装置は通常、電動車椅子1の本体部1aに搭載される。

【0006】

人間は電動車椅子1に搭載されたジョイスティック2を操作することにより、電動車椅子1の制御装置に指令を与える。本実施例では、ジョイスティック2としてX方向、Y方向の2軸のものを使用する。

図3はジョイスティック2をモデリングした図であり、ジョイスティック2の操作桿の操作量、操作方向に応じて、ジョイスティック2から同図に示す x_{joy} 、 y_{joy} の操作信号が出力される。

図1に示す操作信号より変換手段3は、以下の(1)(2)式により、上記操作信号 x_{joy} 、 y_{joy} を仮想的な力指令 F_{hum} とトルク指令 N_{hum} に変換する。なお、(1)(2)式における K_F 、 K_N 等の値は、車椅子の移動空間において制御装置を設計するときに定められる値であり、後述するように、上記変換係数 K_F を可変にすることで、搭乗者や走行面の状況が変化した場合にも所望の操作特性が得られる。

【0007】

【数1】

$$F_{hum} = K_F y_{joy} \quad \text{.....(1)}$$

$$N_{hum} = \begin{cases} -K_N x_{joy} & (y_{joy} \geq 0) \\ K_N x_{joy} & (y_{joy} < 0) \end{cases} \quad \text{.....(2)}$$

【0008】

上記仮想的な力指令 F_{hum} とトルク指令 N_{hum} に対応する駆動信号は、最終的に車椅子1の左右両輪1bを駆動するモータに与えられ、図2に示すように車椅子1の並進方向への駆動力 F_{hum} 、回転方向への駆動力 N_{hum} を発生させる。

【0009】

上記力指令 F_{hum} とトルク指令 N_{hum} は、それぞれ図1に示す並進方向制御系10、回転方向制御系20に与えられる。

並進方向制御系10は、制御手段11、コンプライアンス制御手段12、13、ハイパス

10

20

30

40

50

フィルタ 14、座標変換手段 15、16 を備え、車椅子 1 からフィードバックされる速度信号 $\dot{x}^{m,d}$ 、反力推定手段 7 が出力する走行面との摩擦、障害物との衝突等（以下これらを含わせて環境という）により生ずる反力 $\tau_{n,v}$ 、逐次更新される車椅子 1 の現在位置、速度を表す位置信号 $x^{m,d}$ 、速度信号 $\dot{x}^{m,d}$ 、および、上記操作量→力変換手段 3 が出力する力指令 $F_{h,u,m}$ に基づき、並進方向の加速度指令 $\ddot{x}^{m,d}$ を出力する。

一方、回転方向制御系 20 は、制御手段 21、コンプライアンス制御手段 22、23、ハイパスフィルタ 24、座標変換手段 25、26 を備え、車椅子 1 からフィードバックされる速度信号 $\dot{\phi}^{m,d}$ 、反力推定手段 7 が出力する外部環境により生ずる反力 $\tau_{n,v}$ 、逐次更新される車椅子 1 の現在の回転角度、回転速度を表す回転角度信号 $\phi^{m,d}$ 、回転速度信号 $\dot{\phi}^{m,d}$ 、および、上記操作量→力変換手段 3 が出力するトルク指令 $N_{h,u,m}$ に基づき、回転方向の加速度指令 $\ddot{\phi}^{m,d}$ を出力する。
 なお、図中では、上記速度、加速度等の微分信号を、上にドット 1 つあるいはドット 2 つを付して示すが、文中では、上記のように「 $\dot{}$ 」、「 $\ddot{}$ 」を付して示す。

【0010】

上記並進方向制御系 10、回転方向制御系 20 が出力する加速度指令 $\ddot{x}^{m,d}$ 、 $\ddot{\phi}^{m,d}$ は座標変換手段 4 に与えられ、車椅子 1 の両輪の角加速度指令 $\ddot{\theta}^{m,d}$ に変換され、さらに、上記角加速度指令 $\ddot{\theta}^{m,d}$ は、 $\ddot{\theta}^{m,d} \rightarrow I$ 変換手段 5 により電流指令 $I^{m,d}$ に変換される。

一方、外乱推定手段 6 により、車椅子 1 に加わる外乱が推定され、外乱推定手段 6 から外乱量に応じた電流信号 $I^{m,d}$ が出力される。上記 $\ddot{\theta}^{m,d} \rightarrow I$ 変換手段 5 が出力する電流指令 $I^{m,d}$ と、外乱推定手段 6 が出力する電流信号 $I^{m,d}$ は、加算され車椅子 1 の両輪を駆動するモータ制御装置（図示せず）に与えられ、車椅子 1 が駆動される。
 また、反力推定手段 7 は、外部環境により生ずる外力を推定し、推定外力 $\tau_{n,v}$ を出力する。反力推定手段 7 が出力する推定外力 $\tau_{n,v}$ は、並進方向制御系 10、回転方向制御系 20 の座標変換手段 15、25 によりそれぞれ並進方向の成分である $F_{n,v}$ 成分、回転方向の成分である $N_{n,v}$ 成分に変換され、ハイパスフィルタ 14、24 により高周波成分が取り出され、並進方向制御系 10、回転方向制御系 20 のコンプライアンス制御手段 13、23 に与えられる。

【0011】

コンプライアンス制御は、外界から力を受けた場合に外力に倣うように軌道補正を行なうという制御手段であり、これにより環境との安定な接触を実現することができ、車椅子の走行に柔軟性を持たせることが可能となる。

本実施例では、ジョイスティック 2 による人間の入力と反力推定手段 7 によって推定された環境からの外力にコンプライアンス制御を適用している。

上記コンプライアンス制御手段 13、23 およびコンプライアンス制御手段 12、22 は、後述するように、模式的に質量とバネとダンパーで表される 2 次遅れ要素からなる従属制御系に相当するものであり、入力信号である推定外力 $\tau_{n,v}$ の $F_{n,v}$ 成分、 $N_{n,v}$ 成分をゆっくりと変化する出力信号に変換する。

したがって、例えば車椅子が障害物に衝突した際に、急激に変化する外力が生じても、並進方向制御系 10、回転方向制御系 20 の制御手段 11、21 にフィードバックされる信号は、ゆっくりと変化した信号となり、制御系に柔軟な応答をさせることができる。

同様に、ジョイスティック 2 の操作力をコンプライアンス制御手段 22、23 に入力することにより、ジョイスティック 2 の出力をゆっくりと変化する信号に変換することができ、ジョイスティック 2 を急激に操作しても、制御系に柔軟な応答をさせることができる。

【0012】

さらに、上記反力推定手段 7 が出力する推定外力 $\tau_{n,v}$ の $F_{n,v}$ 成分は、ローパスフィルタ 17 に入力され、低周波成分が取り出され、適応制御手段 18 に入力される。

適応制御手段 18 は後述するように、 $F_{n,v}$ の低周波成分から走行面の摩擦力を求め、該摩擦力に応じて、操作量→力変換手段 3 における力指令 $F_{h,u,m}$ への変換係数（前

10

20

30

40

50

記(1)式における K_F (以下ゲインともいう)を変える。

例えば、走行面の摩擦係数が大きくなった場合には、上記ゲインを大きくして、ジョイスティックの操作量が同じ量でも、車椅子に与える駆動力を大きくする。これにより、例えば搭乗者や走行面の状況が変化した場合にも所望の操作特性が得ることができる。

【0013】

図4、図5は上記並進方向制御系10、回転方向制御系20の詳細ブロック図である。同図は、図1の並進方向制御系と、回転方向制御系を分けて2枚の図で表したものであり、図4は並進方向制御系10の構成を示し、図5は回転方向制御系20の構成を示しており、図1と同一のものには同一の符号が付されている。

なお、図4、図5では、ジョイスティック2、操作量 \rightarrow 力変換手段3、座標変換手段4、 $0^\circ \rightarrow 1$ 変換手段5、車椅子1、外乱推定手段6、反力推定手段7をそれぞれ示しているが、これらは、図1に示したように共通部分である。

また、図4、図5では、車椅子1の車輪の回転角度 θ (rad) を、回転速度 $\dot{\theta}$ (rad/s) に変換するブロック1c ($(s/g)/(s+g)$ のブロック) を示しているが、図1では、車椅子1とブロック1cをまとめて車椅子1とし、車椅子1の出力を回転速度 $\dot{\theta}$ としている。

【0014】

以下、図4、図5の各部について説明する。

(1) 外乱推定手段6

本実施例では、車椅子に作用する外乱を推定する外乱推定手段6を用いる。外乱推定手段6は、パラメータ変動も含め、車椅子に作用する外乱の総和を推定し、推定された外乱をフィードバックすることにより、外乱を相殺する。これによりロバストな制御系を構成することができる。

上記外乱推定手段6は、例えば、村上俊之、中村亮、郁方銘、大西公平：“反作用力推定オブザーバに基づいた多自由度ロボットの力センサレスコンプライアンス制御” 日本ロボット学会誌、Vol. 11, No. 5, pp. 765-768, (1993) (以下論文1という)、西川直樹、藤本康孝、村上俊之、大西公平：“環境変動を考慮した3次元2足歩行ロボットの可変コンプライアンス制御” 電気学会産業応用部門誌、Vol. 119-D, No. 12, pp. 1507-1513, (1999) (以下論文2という)に記載されており、本実施例においても、上記論文1、論文2に記載されるものを使用することができる。

図6に外乱推定手段6のブロック図を示す。同図に示すように、外乱推定手段6は、車椅子の車輪の回転速度 $\dot{\theta}$ と、入力電流 I を取り込み、車椅子1に作用する外乱を推定し、 I_{comp} を出力する。

推定された外乱は次の(3)式のようになる。

推定された外乱は次の(3)式のようになる。

【0015】

【数2】

$$\hat{\tau}_{dis} = \frac{g_{dis}}{s + g_{dis}} (I_a^{ref} K_{\tau_a} + g_{dis} J_n \dot{\theta}) - g_{dis} J_n \dot{\theta} \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$\hat{\tau}_{env} = \frac{g_{reac}}{s + g_{reac}} (I_a^{ref} K_{\tau_a} + g_{reac} J_n \dot{\theta} - \tau_{init}) - g_{reac} J_n \dot{\theta} \quad \dots\dots\dots(4)$$

【0016】

ここで、 g_{dis} は外乱推定手段6のゲインであり、外乱推定手段6によって推定された外乱 τ_{dis} は、電流信号 I_{comp} として、前記電流指令 I_a^{ref} と加算され、車椅子1に入力される。

【0017】

(2) 反力推定手段7

環境により生ずる外力を検出するために、本実施例では反力推定手段7を用いる。上記反力推定手段7は、前記した論文1、論文2に記載されており、本実施例においても、上記論文1、論文2に記載されるものを使用することができる。図7に、反力推定手段7のブロック図を示す。反力推定手段7は、 τ_{init} を差し引くようにした点を除き、上記外乱推定手段6と同様の構成であり、車椅子の車輪の回転速度 $\dot{\theta}$ 、 τ_{init} と、入力電流 I_a^{ref} を取り込み、車椅子1に作用する外力を推定し、 τ_{env} を出力する。

また、推定された外力は、前記(4)式のようになる。

ここで、 g_{reac} は反力推定手段7のゲインであり、 τ_{init} は慣性行列のノミナル値との差である。反力推定手段7によって推定された外力 τ_{env} は、座標変換手段15、25により、並進方向の成分である F_{env} 、回転方向の成分である N_{env} に変換される。

上記変換は、次の(5)式により行われる。

【0018】

【数3】

$$\begin{bmatrix} F_{env} \cos \phi \\ F_{env} \sin \phi \\ N_{env} \end{bmatrix} = J_{aco}^{-T} \hat{\tau}_{env} \quad \dots\dots\dots(5)$$

【0019】

上記座標変換手段15、25により変換された F_{env} 成分、 N_{env} 成分は、ハイパスフィルタ14、24に入力され、高周波成分のみが取り出され、コンプライアンス制御手段13、23に入力される。したがって、コンプライアンス制御手段14、24は車椅子1に作用する反力のうちの高周波成分にみに応答し、走行面の摩擦力、搭乗者の重量等に影響されない。

【0020】

(3) コンプライアンス制御手段12、13、22、23

前記したように、本実施例では、ジョイスティック2による人間の入力と、反力推定手段7によって推定された環境からの外力に対して、コンプライアンス制御を適用している。まず、人間の入力について仮想インピーダンス特性行列 $M_{c_{hum}}$ 、 $D_{c_{hum}}$ 、 $K_{c_{hum}}$ を設定すると、仮想インピーダンスモデルは次の(6)式で与えられる。

【0021】

【数4】

$$M_{c_{hum}} \ddot{X}_{c_{hum}} + D_{c_{hum}} \dot{X}_{c_{hum}} + K_{c_{hum}} X_{c_{hum}} = A_{c_{hum}} F_{hum}$$

----- (6)

10

【0022】

ここで、 $A_{c_{hum}}$ は人間の入力の増幅ゲインである。(6)式をブロック図で示すと、図8のように2次遅れ要素となる。

20

また、同様にして環境からの外力についても仮想インピーダンスモデルを設定すると、(7)式のようなになる。

【0023】

【数5】

$$M_{c_{env}} \ddot{X}_{c_{env}} + D_{c_{env}} \dot{X}_{c_{env}} + K_{c_{env}} X_{c_{env}} = A_{c_{env}} F_{env}$$

----- (7)

30

【0024】

ここで、 $A_{c_{env}}$ は外力のフィードバックゲインである。(7)式をブロックで示すと図9のように2次遅れ要素となる。

図4に示すコンプライアンス制御手段12、13は、位置、速度、加速度指令値 $X_{c_{hum}}$ 、 $\dot{X}_{c_{hum}}$ 、 $\ddot{X}_{c_{hum}}$ 、および、位置、速度、加速度フィードバック信号 $X_{c_{env}}$ 、 $\dot{X}_{c_{env}}$ 、 $\ddot{X}_{c_{env}}$ が出力されるように、図8、図9に示すブロック図[(6)(7)式]を変形したものであり、上記位置、速度、加速度指令値および位置、速度、加速度フィードバック信号を制御手段11に出力し、コンプライアンス動作を実現する。

40

上記では、並進方向の F_{hum} 、 F_{env} 成分について説明したが、コンプライアンス制御手段22、23においても、上記と同様であり、上記(6)(7)式、図8、図9の、 F_{hum} 、 F_{env} をそれぞれ N_{hum} 、 N_{env} に置き換え、 X を θ に置き換えればよい。

【0025】

(4) 制御手段11、21

制御手段11には、現在位置、速度を示す位置信号 X^{cmd} 、速度信号 \dot{X}^{cmd} および上記コンプライアンス制御手段12が出力する位置、速度、加速度指令値 $X_{c_{hum}}$ 、 $\dot{X}_{c_{hum}}$ 、 $\ddot{X}_{c_{hum}}$ 、および、コンプライアンス制御手段13が出力する位置、速度、加速度フィードバック信号 $X_{c_{env}}$ 、 $\dot{X}_{c_{env}}$ 、 $\ddot{X}_{c_{env}}$ 、 X

50

および、車椅子 1 の車輪の角速度 $\dot{\theta}^{cmd}$ を座標変換手段 16 により変換した速度フィードバック信号 \dot{X}^{res} が入力される。

制御手段 11 は、図 4 に示すように、現在位置指令 X^{cmd} と、座標変換手段 16 が出力する \dot{X}^{res} を積分した位置フィードバック信号 X^{res} との偏差からコンプライアンス制御手段 12、13 が出力する位置信号 X^{c_hum} 、 X^{c_env} を減じて係数 K_p を乗じて位置偏差分を求め、また、上記速度フィードバック信号 \dot{X}^{res} と、現在位置に対応した速度指令 \dot{X}^{cmd} との偏差から、コンプライアンス制御手段 12、13 が出力する速度信号 \dot{X}^{c_hum} 、 \dot{X}^{c_env} を減じて係数 K_v を乗じて速度偏差分を求め、さらに上記位置偏差分と速度偏差分の和からさらに、コンプライアンス制御手段 12、13 が出力する加速度信号 X''^{c_hum} 、 X''^{c_env} を減じることにより、並進方向の加速度指令 X''^{res} を求める。

すなわち、上記制御手段 11 は、次の (8) 式により、上記並進方向の加速度指令 X''^{res} を出力する。これにより、コンプライアンス動作を実現することができる。

【0026】

【数 6】

$$\ddot{X}^{res} = K_p (X^{cmd} - X^{res} - X_{c_hum} - X_{c_env}) + K_v (\dot{X}^{cmd} - \dot{X}^{res} - \dot{X}_{c_hum} - \dot{X}_{c_env}) - \ddot{X}_{c_hum} - \ddot{X}_{c_env}$$

(8)

20

【0027】

上記現在位置、速度を示す位置信号 X^{cmd} 、速度信号 \dot{X}^{cmd} は、ジョイスティック 2 の操作指令により車椅子が移動し、車椅子の位置、速度が更新される毎に逐次更新される。

なお、本実施例では、位置信号 X^{cmd} 、速度信号 \dot{X}^{cmd} として現在位置、速度を与えており、人間がジョイスティック 2 を操作しないときは、車椅子 1 が停止するようにしているが、上記位置信号 X^{cmd} 、速度信号 \dot{X}^{cmd} として予め定められた軌道に沿って変化する信号を与えることにより、車椅子を軌道に沿って移動させることができ、ジョイスティック 2 の操作に応じて、車椅子を上記軌道から変位させることができる。

30

上記では、並進方向の F_{hum} 、 F_{env} 成分について説明したが、制御手段 21 においても、上記と同様にして、回転方向の加速度指令 ϕ''^{res} を出力する。なお、制御手段 21 の場合には、上記 (8) 式の X を ϕ に置き換えればよい。

【0028】

本実施例では、上記のように、ジョイスティック 2 による人間の入力と、反力推定手段 7 によって推定された環境からの外力に対して、それぞれ、コンプライアンス制御を適用しているので、位置指令、回転方向指令に対する位置・回転方向応答特性と、人間の力に対する位置・回転方向応答性、そして環境からの外力に対する位置・回転方向応答特性を独立に設計することができる。

40

そのため、位置・回転方向制御性能を維持しつつ所望のコンプライアンス特性を実現することが可能である。

また、並進方向、回転方向の環境のモードに対してもコンプライアンス特性を独立に設計することが可能である。例えば、車椅子の一方の車輪が小石につまづいてしまったような場合、並進方向に関しては柔らかくし、回転方向に関しては強い制御をすると、石を乗り越えるようなこともできる。

したがって、コンプライアンス特性を変えらることで、目的に応じて人間が使いやすいように車椅子の走行特性を変化させることが可能である。

【0029】

(5) 座標変換手段 16、26、座標変換手段 4、および $\theta'' \rightarrow I$ 変換手段 5

50

上記車椅子 1 を、図 10 に示すモデルで表し、車椅子 1 のパラメータを以下のように定義する。

x_0 : 世界座標系における参照点の x 座標

y_0 : 世界座標系における参照点の y 座標

ϕ : 車椅子の方向角

R : 駆動輪の半径

W : トレッド

θ_r : 右輪の回転角

θ_l : 左輪の回転角

上記車椅子 1 の駆動輪 1b の中点 $P_0(x_0, y_0)$ を制御参照点とすると、車椅子 10 の位置および姿勢は次の (9) 式で与えられる。

また、上記車椅子 1 の運動学は次の (10) 式で与えられ、(11) 式に時間微分を施すと、次の (12) 式が得られる。

これより、以下の (12) 式に示す世界座標系における加速度指令 $X''(t)$ 、加速度指令 $v''(t)$ から、角加速度指令 $\theta''(t)$ を求めることができる。

[0030]

[数 7]

$$X = [x_0, y_0, \phi]^T \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_0 \\ \dot{y}_0 \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{R}{2} \cos \phi & \frac{R}{2} \cos \phi \\ \frac{R}{2} \sin \phi & \frac{R}{2} \sin \phi \\ \frac{R}{W} & -\frac{R}{W} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_r \\ \dot{\theta}_l \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (10)$$

10

$$= J_{aco}(\phi) \dot{\theta} \quad \dots\dots\dots (11)$$

20

$$\begin{bmatrix} \ddot{\theta}_r \\ \ddot{\theta}_l \end{bmatrix} = \frac{1}{R} \begin{bmatrix} \cos \phi & \sin \phi & \frac{W}{2} \\ \cos \phi & \sin \phi & -\frac{W}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \\ \ddot{\phi} \end{bmatrix}$$

30

$$\dots\dots\dots (12)$$

【0031】

座標変換手段16、26は、車椅子1の回転加速度 $\ddot{\theta}^{\text{r, l}}$ を上記(10)式により、速度フィードバック信号 $\dot{x}^{\text{r, l}}$ 、 $\dot{\phi}^{\text{r, l}}$ に変換する。

また、座標変換手段4は制御手段11、21が出力する加速度指令 $\ddot{x}^{\text{r, l}}$ 、 $\ddot{\phi}^{\text{r, l}}$ を上記(12)式により車椅子の両輪の回転加速度指令 $\ddot{\theta}^{\text{r, l}}$ に変換する。 40

【0032】

また、車椅子の重心位置が、図10に示すP。であるとする、運動エネルギー関数Kは、(13)式で定義される。

これより、Lagrange方程式を解くことにより、力学関係式が次の(14) (15)式のように定義される。ここで、M θ は等価慣性行列である。

【0033】

【数8】

$$K = \frac{1}{2} M \left(\frac{R}{2} (\dot{\theta}_r + \dot{\theta}_l) \right)^2 + \frac{1}{2} J \left(\frac{R}{W} (\dot{\theta}_r - \dot{\theta}_l) \right)^2 + \frac{1}{2} J_w (\dot{\theta}_r^2 + \dot{\theta}_l^2) \quad (13)$$

10

$$\begin{bmatrix} \tau_r \\ \tau_l \end{bmatrix} = M_\theta \begin{bmatrix} \ddot{\theta}_r \\ \ddot{\theta}_l \end{bmatrix} \quad (14)$$

20

$$M_\theta = R^2 \begin{bmatrix} \left(\frac{M}{4} + \frac{J}{W^2} \right) + \frac{J_w}{R^2} & \left(\frac{M}{4} - \frac{J}{W^2} \right) \\ \left(\frac{M}{4} - \frac{J}{W^2} \right) & \left(\frac{M}{4} + \frac{J}{W^2} \right) + \frac{J_w}{R^2} \end{bmatrix} \quad (15)$$

30

【0034】

上記θ''>1変換手段5は、上記(14)式により回転加速度指令θ''、θ''をトルク指令に変換し、トルク指令を車椅子の両輪を駆動するモータへの電流指令θ''に変換する。

【0035】

(6) 適応制御手段18

適応制御手段18は、前記したように、F_{env}の低周波成分から走行面の摩擦力を求め、該摩擦力に応じて、操作量→力変換手段3における力指令F_{h_{um}}への変換係数〔前記(1)式におけるK_F〕を変える。

40

図4に示すように、反力推定手段7で推定した環境より車椅子1にかかる外力F_{env}をローパスフィルタ17に入力する。

F_{env}のうち、ローパスフィルタ17が出力する周波数の低い成分は定常的な外乱であるので、車椅子1と床の摩擦による成分とみなすことができる。

この摩擦力を車椅子の速度X'で割ることで、環境の摩擦係数μ_{env}を同定することができる。

環境の摩擦係数μ_{env}は搭乗者の重量や走行面の摩擦などをすべて含んでいる。したがって、それらの変動に適応することが可能である。

そして、この摩擦係数μ_{env}を所望の環境の摩擦係数μ₀で割り、操作量→力変換手段3における係数K_Fを求める。

50

このように、係数 K_F を可変にすることで、搭乗者や走行面の状況が変化した場合にも所望の操作特性を得ることができる。すなわち、搭乗者や走行面の状況に応じて、アシスト比を可変にすることができ、人間は一定の力を加えるだけで走行面の状況が変わったときでも同じ操作量を得ることができる。

【0036】

以上のように、本実施例においては、環境からの反力を反力推定手段により推定し、推定した反力をハイパスフィルタ14、24と、ローパスフィルタ17とにより、高周波成分と低周波成分とに分け、高周波成分は障害物との衝突による成分であるので、衝撃力を和らげるコンプライアンス制御を行い、また、低周波成分は、車輪と走行面との間の摩擦力であるので、摩擦力に応じて上記のように操作量→力変換手段3における係数 K_F を変えている。

10

このため、障害物との衝突等により生ずる急激な反力に対しては、柔らかい制御を行うことができ、また、走行面の摩擦係数の変化に対しては、適切なアシスト比に設定することができる。

すなわち、路面がジャリ道になったり、車椅子の重さが重くなった場合でも、人間は同じ力を加えることで同じ速度を得ることができる。よって大幅な操作性の向上が期待できる。また、操作を誤って障害物に衝突した場合は、衝撃力の緩和を行っているので安全性も高めることが可能である。

【0037】

なお、上記実施例では、ジョイスティックを用いる場合について説明したが、図11に示すように、車椅子1に2個のトルクセンサ31a、31bを取り付け、トルクセンサ31a、31bの出力を並進方向の力と同転方向の力に変換するように構成してもよい。

20

このように構成すれば、前記ジョイスティックを用いる場合と同様、人が上記トルクセンサ31a、31bに加える力に応じて、車椅子1を任意の方向に動かすことができる。

また、ハンドルを人が押しながら前進させる電動台車、ゴルフカート等において、このハンドル部分に上記トルクセンサ31a、31bを取り付け、本実施例で示した制御装置により、電動台車、ゴルフカート等を駆動するように構成すれば、比較的小きな力で電動台車、ゴルフカート等を任意の方向に動かすことが可能となる。

トルクセンサ31a、31bを用いる場合、前記操作量→力変換手段3は、以下の(16)式により並進方向の力 F^H 、同転方向のトルク N^H に変換する。

30

トルクセンサ31a、31bを用いる場合にも、(16)式における係数の値を適応制御手段18の出力により変えることにより、ジョイスティックを用いる場合と同様に、搭乗者や走行面の状況が変化した場合にも所望の操作特性を得ることができる。

【0038】

【数9】

$$F^H = F_r + F_l$$

----- (16)

40

$$N^H = r_r \times F_r + r_l \times F_l$$

【0039】

本発明の効果を検証するため、人間が本実施例の車椅子1を操作し、途中で物体を押す実験を行った。

前記ゲイン K_F を一定としたときの実験結果を図12～図14に示す。この実験は、ジョイスティックを一杯に倒して、途中で物に当たった場合(外力を増やした)の車椅子の

50

位置（図12）、仮想的な力指令値（図13）、ローパスフィルタを通した環境からの外力（図14）を求めたものであり、図12～図14の横軸は時間であり、矢印は物に当たった時点を示す。

図12～図14に示すように、前記ゲイン K_F が一定の場合でも、環境からの外力にコンプライアンス制御を行っているので、物体との接触時における衝撃力を緩和し、物体と安定な接触を行うことができる。

しかし、前記ゲイン K_F が一定であるので、物体を押すことによる床との摩擦力の増加によって車椅子の速度は遅くなり、止まってしまうことがわかる。

【0040】

また、前記適応制御手段18を設けて前記ゲイン K_F を環境に応じて可変にしたときの実験結果を図15～図17に示す。

図12～図14と同様、ジョイスティックを一杯に倒して、途中で物に当たった場合（外力を増やした）の車椅子の位置（図15）、仮想的な力指令値（図16）、ローパスフィルタを通した環境からの外力（図17）を求めたものであり、横軸は時間であり、矢印は物に当たった時点を示す。

適応制御手段18を設けた場合には、図15～図17に示すように、環境の摩擦力が増えた場合においても、ゲイン K_F が可変になっているために、物体による摩擦力の影響を受けずに所望の動作特性が実現できていることが分かる。

また、車椅子が動き始める際に大きな静止摩擦が働くが、この例では滑らかに発進することが可能となっている。

上記実験により、環境の摩擦係数を同定し、その値に応じてゲイン K_F を可変にすることで、環境の変化に適応して所望の動作特性が実現できることを確認することができた。

【0041】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明においては、以下の効果を得ることができる。

（1）走行車を操作するためのジョイスティック、あるいは、トルクセンサの出力を仮想的な並進方向の力指令と、回転方向の力指令に変換し、反力推定手段等により上記走行車に加わる外力を求め、上記ジョイスティックやトルクセンサによる人間の入力と、上記環境からの外力に対して、コンプライアンス制御を行っているので、障害物に衝突した場合等、環境からの外力が急激に変化することにより生ずる衝撃を緩和し、環境からの外力に対しても柔らかい制御を行うことができる。

（2）特に、人間の入力と、上記環境からの外力のそれぞれに対して、コンプライアンス制御を行っているので、人間の力に対する位置応答性、外力に対する位置応答性を独立に設計することができ、位置制御性能を維持しつつ、外力に対して所望のコンプライアンス特性を確保することができる。

（3）走行車に加わる外力の低周波成分から、走行車と走行面との間の摩擦力を求め、上記摩擦力に応じた値で、上記ジョイスティック、あるいは、トルクセンサのゲインを変化させることにより、走行車の重量の変動や走行面の状況が変化しても、所望の操作特性を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例の制御装置の全体構成を示す図である。

【図2】本実施例の適用対象である電動車椅子の概念構成を示す図である。

【図3】ジョイスティックをモデリングした図である。

【図4】並進方向制御系の詳細ブロック図である。

【図5】回転方向制御系の詳細ブロック図である。

【図6】外乱推定手段のブロック図である。

【図7】反力推定手段のブロック図である。

【図8】人間の入力から位置指令への変換のブロック図である。

【図9】外力から位置指令への変換のブロック図である。

【図10】車椅子をモデル化した図である。

【図 1 1】トルクセンサによる入力を説明する図である。

【図 1 2】ゲインを一定にした場合の車椅子の位置変化を示す図である。

【図 1 3】ゲインを一定にした場合の仮想的な力指令値の変化を示す図である。

【図 1 4】ゲインを一定にした場合のローパスフィルタを通した外力の変動を示す図である。

【図 1 5】可変ゲインとした場合の車椅子の位置変化を示す図である。

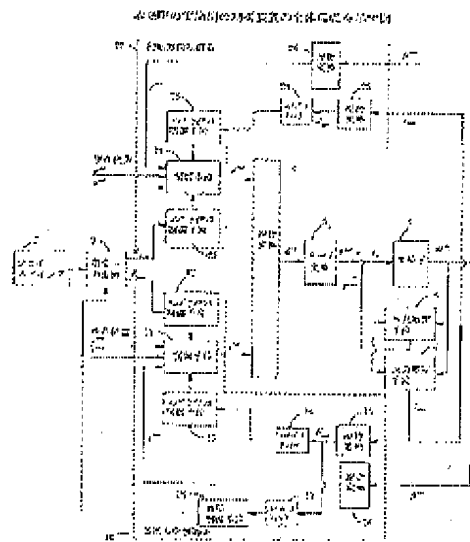
【図 1 6】可変ゲインとした場合の仮想的な力指令値の変化を示す図である。

【図 1 7】可変ゲインとした場合のローパスフィルタを通した外力の変動を示す図である。

【符号の説明】

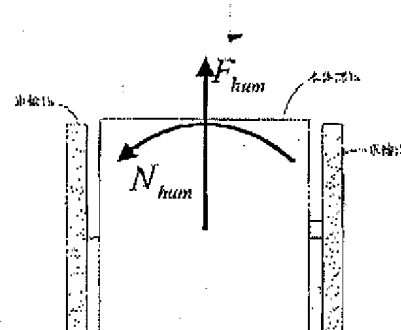
1	電動車椅子	10
2	ジョイスティック	
3	操作信号、力変換手段	
4	座標変換手段	
5	0°→1°変換手段	
6	外乱推定手段	
7	反力推定手段	
10	前進方向制御系	
11	制御手段	
12, 13	コンプライアンス制御手段	20
14	ハイパスフィルタ	
15, 16	座標変換手段	
17	ローパスフィルタ	
18	適応制御手段	
20	回転方向制御系	
21	制御手段	
22, 23	コンプライアンス制御手段	
24	ハイパスフィルタ	
25, 26	座標変換手段	
31a, 31b	トルクセンサ	30

【図 1】



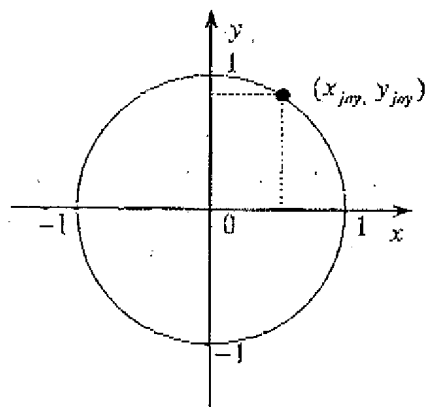
【図 2】

本発明の適用対象である電動自転車全体の構成を示す図



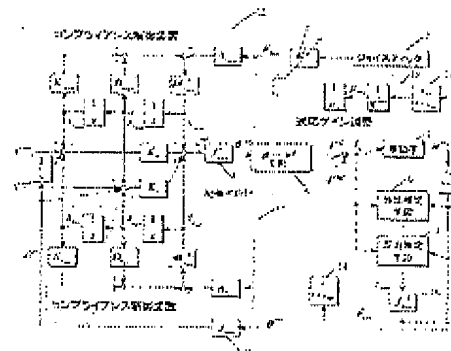
【図 3】

ジョイスティックをデジリングした図



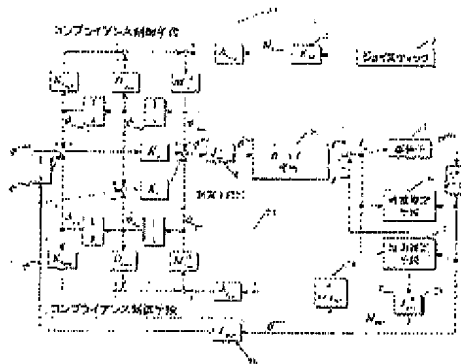
【図 4】

本発明の適用対象である電動自転車全体の構成を示す図



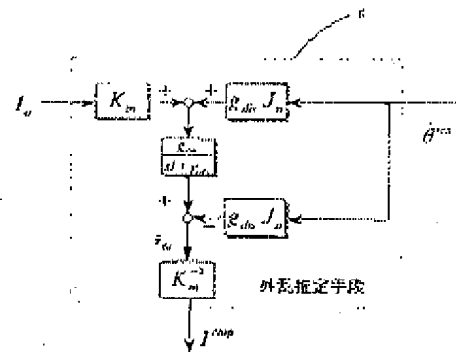
【図 5】

図5は制御系のブロック図



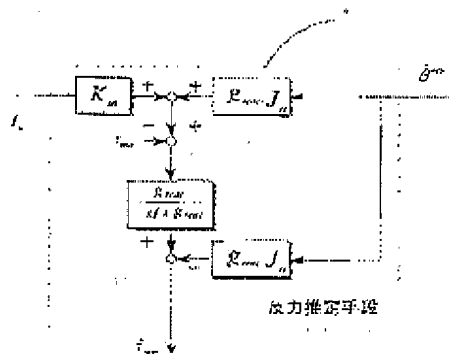
【図 6】

外乱推定手段のブロック図



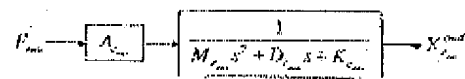
【図 7】

外乱推定手段のブロック図



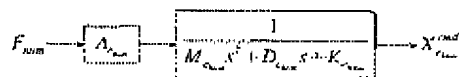
【図 9】

外方からの位置指令への変換ブロック図



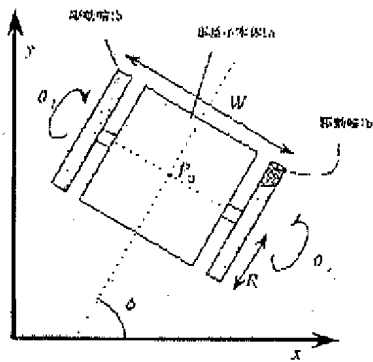
【図 8】

人間の入力から位置指令への変換ブロック図



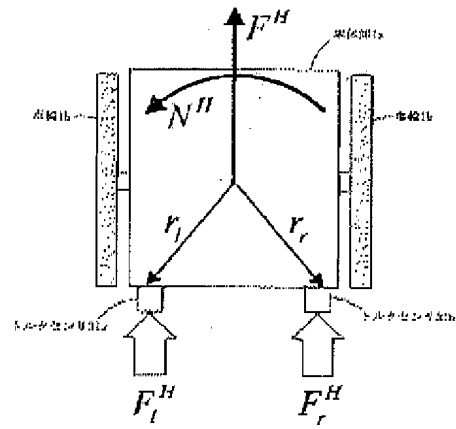
【図 10】

車椅子をモデル化した図



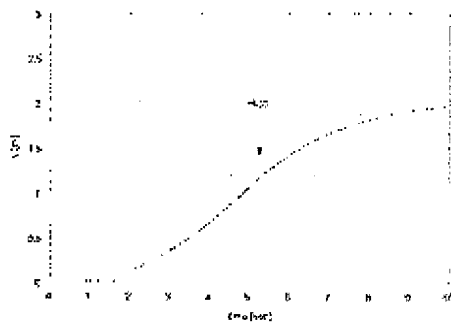
【図 11】

トルクセンサによる入力の説明する図



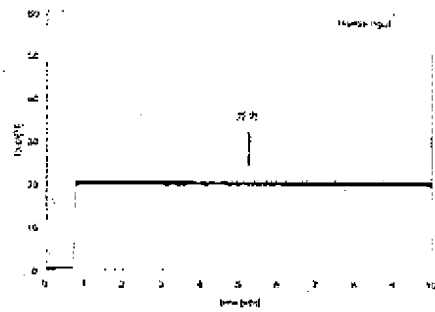
【図 12】

グインを一定にした場合の車椅子の位置変化を示す図



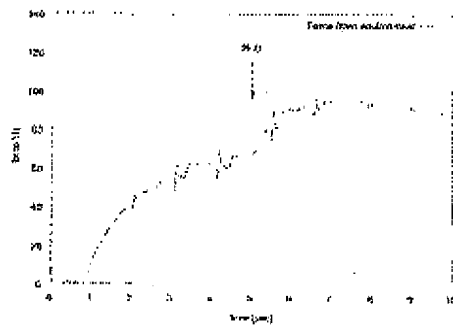
【図 13】

グインを一定にした場合の車椅子の位置変化を示す図



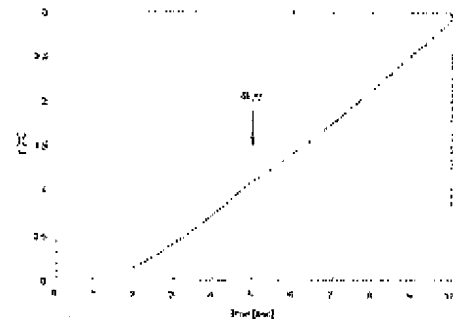
【図 14】

ゲインを一定にした場合のローパスフィルタを通した外力の型推定を示す図



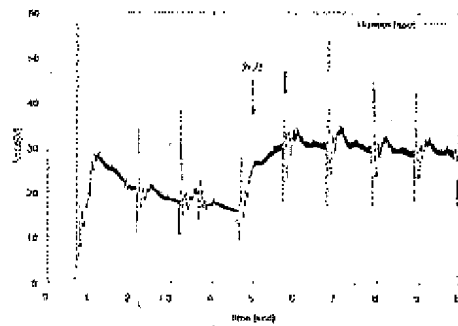
【図 15】

可変ゲインとした場合の理論上の位置変化を示す図



【図 16】

可変ゲインとした場合の仮想的な位置変化の型推定を示す図



【図 17】

可変ゲインとした場合のローパスフィルタを通した外力の型推定を示す図

